

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-326000

(43)公開日 平成 6 年(1994)11月25日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7316-2H		
// G 0 2 B 13/00		9120-2K		
		7352-4M		
			H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数26 F D (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平5-136886

(22)出願日 平成 5 年(1993) 5 月14日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子 3 丁目30番 2 号

(72)発明者 鳥越 真

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ャノン株式会社小杉事業所内

(72)発明者 鈴木 章義

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ャノン株式会社小杉事業所内

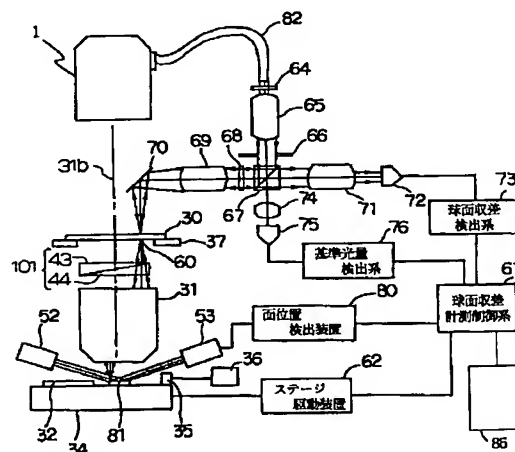
(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 投影光学系の球面収差を制御し、高精度な投影パターン像が得られる半導体素子製造用の投影露光装置を得ること。

【構成】 照明光学系からの光束で照明された第1物体面上のパターンを投影光学系を介して第2物体面上に投影する際、球面収差計測手段により該投影光学系の球面収差を計測し、該球面収差計測手段からの信号を利用して制御手段により、該投影光学系の一部の光学部材を駆動させて該投影光学系の球面収差を制御していること。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系からの光束で照明された第1物体面上のパターンを投影光学系を介して第2物体面上に投影露光する際、球面収差計測手段により該投影光学系の球面収差を計測し、該球面収差計測手段からの信号を利用して制御手段により該投影光学系の球面収差を所定値に制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記制御手段は前記投影光学系の一部の光学部材を駆動させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項3】 前記光学部材は1枚のレンズであることを特徴とする請求項2の投影露光装置。

【請求項4】 前記1枚のレンズを前記投影光学系の光軸方向に駆動していることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項5】 前記光学部材は2枚の光学楔を全体として平行平板となるように対向配置したものであることを特徴とする請求項2の投影露光装置。

【請求項6】 前記2枚の光学楔を前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動させて該光軸方向の厚さを変化させていることを特徴とする請求項5の投影露光装置。

【請求項7】 前記制御手段は前記投影光学系の一部の光学部材を光路中より切り替えることにより該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項8】 前記光学部材は厚さの異なる複数の平行平板であることを特徴とする請求項7の投影露光装置。

【請求項9】 前記制御手段は前記投影光学系の光学部材間の全体の屈折率を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項10】 前記光学部材間の気体の圧力を変化させて、該気体の屈折率を変化させていることを特徴とする請求項9の投影露光装置。

【請求項11】 前記光学部材間の気体を混合気体とし、該混合気体の混合比を変えていることを特徴とする請求項9の投影露光装置。

【請求項12】 前記制御手段は前記投影光学系を加熱又は／及び冷却して、該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項13】 前記制御手段は前記照明光学系からの光束の波長を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項14】 前記制御手段は前記照明光学系からの光束の波長幅を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項15】 前記第2物体はフォトリソを塗布した半導体ウエハより成り、前記球面収差計測手段は前

記第1物体面上のパターンを該フォトリソ上に投影転写したパターンの線巾のデフォーカスによる変化に基づいて前記投影光学系の球面収差を計測していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項16】 前記球面収差制御手段は前記パターンの線巾のデフォーカスによる変化を最小にして前記投影光学系の球面収差を制御していることを特徴とする請求項15の投影露光装置。

【請求項17】 前記第1物体に設けたマークを介した光束を前記投影光学系により前記第2物体面の一部又はその近傍に設けた反射面に集光し、該反射面からの反射光束を又は該反射面若しくは該第1物体を該投影光学系の光軸方向に変位させたときの該反射面からの反射光束を該投影光学系を介して該第1物体面上のマーク近傍に再集光し、このときの該マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項18】 前記第2物体近傍に設けたマーク又は該マークを前記投影光学系の光軸方向に駆動させたときの該マークを照明光学系からの光束で該投影光学系の反対側から照明し、このとき該マークからの光束を該投影光学系を介して前記第1物体近傍に集光させ、そして該第1物体の該投影光学系側の面で反射して該投影光学系により該第2物体面の該マーク近傍に再集光し、かつ該マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項19】 前記第1物体面上に設けた第1マークを前記投影光学系により前記第2物体面上に投影したときの該投影マーク像と実質的に重なる位置に該第1マークと相似形でかつ該投影光学系の結像倍率を掛け合わせたときの寸法を有する第2マークを設け、該第2マークを介した光束を又は該第2マーク若しくは該第1物体を該投影光学系の光軸方向に移動させたときの該第2マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項20】 前記第2物体面上に設けた第2マークを前記投影光学系により前記第1物体面上に投影したときの該投影マーク像と実質的に重なる位置に該第2マークと相似形でかつ該投影光学系の結像倍率を掛け合わせたときの寸法を有する第1マークを設け、該第1マークを介した光束を又は該第1マーク若しくは該第2物体を該投影光学系の光軸方向に移動させたときの該第1マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴とする請求項1の投影

露光装置。

【請求項21】 前記第1物体面上のパターンを前記投影光学系により前記第2物体面上に投影露光する際の露光履歴を露光履歴計測手段で計測し、該露光履歴計測手段からの信号により、前記球面収差計測手段は該投影光学系の球面収差を演算により求めていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項22】 照明光学系からの光束で照明された第1物体面上のパターンを投影光学系を介して第2物体面上に投影する際、制御手段により該投影光学系の球面収差が所定値になるように制御すると共に球面収差以外の光学特性を同時に補正していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項23】 前記光学特性はフォーカス、投影倍率、ディストーションのうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項22の投影露光装置。

【請求項24】 前記制御手段は前記第2物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させること、又は該投影光学系の一部の部材を駆動させること又は該投影光学系の光学部材間の気体の屈折率を変化させることの少なくとも1つを用いており、球面収差を含む補正する光学特性の数と該制御手段による制御する数とが一致していることを特徴とする請求項22の投影露光装置。

【請求項25】 前記制御されるべき球面収差の補正量に対し、あるリミットを設定し球面収差の変化値又は変化の予想値が該リミットを越えない場合には球面収差の補正を行わないことを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項26】 前記球面収差の補正をウェハの交換時に行なうことを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は投影露光装置に関し、特に半導体素子製造の分野において半導体ウェハ表面にレチクルの回路パターンを繰り返し縮小投影露光する、所謂ステッパーと呼ばれる投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子、LSI素子、超LSI素子等のパターンの微細化、高集積化の要求により投影露光装置において高い解像力を有した結像（投影）光学系が必要とされてきている。

【0003】従来より、ステッパー等の投影光学系では少しでも解像性能を向上させるために諸収差を最小限に抑える努力がなされてきている。諸収差のうち例えばコマ収差、非点収差等は投影光学系の開口数の全域にわたってなるべくゼロに近づけるように設定されている。

【0004】そして近年になってますます解像力の向上が要求され、それに対応するべく投影光学系の開口数（Numerical Aperture、以下「NA」）を大きくしていき、その値が0.5を越えるまでになってきている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】投影光学系のNAが大きい場合には、ウェハ面上に塗布するレジストという厚みのあるものにレチクル面上のパターンを投影するために投影光学系の全ての収差を（無収差状態にする）0にするのが必ずしも最良ではないことがわかってきた。これはレジストという有限の大きさの値を持った厚さのある物質に結像を行なうためである。無収差がベストとなるのは厚さが0の物質上に結像を行なう場合に対応する。例えば完全無収差系でもレジスト内部での多重反射の影響を受けて、所謂「ビボタルの傾き」といわれる現象が起こることが知られている。

【0006】しかしながら、従来は球面収差が露光によって変化するものであるという認識がされておらず、常に固定値のパラメータとして考えられていた。このため球面収差を補正しようとしても初期状態の値が用いられていたのみであり、精細化するパターン転写技術において大きな欠陥点となっていた。

【0007】この「ビボタルの傾き」とは、デフォーカスした場合にパターン線巾の変化が線形になる露光量での直線（「ビボタル」）が図2のように平らにならず、図3のように傾きを持ってしまふことを言う。こうなってしまうと、プロセスその他の要因でフォーカスが変動するとパターン線巾が変化してしまい、安定した投影パターン像の焼付けができなくなってしまう。

【0008】この為、特開平2-166719号公報では投影光学系の球面収差を過剰に発生させた投影露光装置を提案している。又、最適の球面収差量はレジストの種類やレジスト厚によっても変化することも判明している。

【0009】一方、投影光学系の球面収差を制御するには、現状の投影光学系の球面収差の値を知る必要がある。しかしながら球面収差の値は、例えば露光による投影光学系の熱吸収による変化で一定ではない。従って単に球面収差の初期状態（熱吸収を受けていない状態）の値を知っておくだけでは不十分で球面収差を動的に変化するものとして捉える必要がある。

【0010】本発明は投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該投影光学系の球面収差を制御する制御手段とを利用することにより、露光光の熱の吸収や空気圧の急激な変化によって球面収差がどのように変化しても所定の値に制御してビボタルの傾きの発生を効果的に抑えて安定した高解像度の投影パターン像の焼付けが可能な投影露光装置の提供を目的とする。幸いなことに球面収差は比較的簡単な手段により外部から制御可能な収差であることも判明している。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の投影露光装置は、

（1）照明光学系からの光束で照明されたレチクル等の

第1物体面上のパターンを投影光学系を介してウエハ等の第2物体面上に投影露光する際、球面収差計測手段により該投影光学系の球面収差を計測し、該球面収差計測手段からの信号を利用して制御手段により該投影光学系の球面収差を所定値に制御していることを特徴としている。

【0012】特に、(1-1)前記制御手段は前記投影光学系の一部の光学部材を駆動させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0013】このとき光学部材は1枚のレンズであり、前記投影光学系の光軸方向に駆動していること、又は前記光学部材は2枚の光学楔を全体として平行平板となるように対向配置し、前記2枚の光学楔を前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動させて該光軸方向の厚さを変化させていること等を特徴としている。

【0014】(1-2)前記制御手段は前記投影光学系の一部の光学部材、例えば厚さの異なる複数の平行平板を光路中より切り替えることにより該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0015】(1-3)前記制御手段は前記投影光学系の光学部材間の全体の屈折率を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0016】例えば前記光学部材間の気体の圧力を変化させて、又は前記光学部材間の気体を混合気体とし、該混合気体の混合比を変えて該気体の屈折率を変化させていることを特徴としている。

【0017】(1-4)前記制御手段は前記投影光学系を加熱又は／及び冷却して、該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0018】(1-5)前記制御手段は前記照明光学系からの光束の波長を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0019】(1-6)前記制御手段は前記照明光学系からの光束の波長幅を変化させて該投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0020】(1-7)前記第2物体はフォトレジストを塗布した半導体ウエハより成り、前記球面収差計測手段は前記第1物体面上のパターンを該フォトレジスト上に投影転写したパターンの線巾のデフォーカスによる変化に基づいて前記投影光学系の球面収差を計測していることを特徴としている。

【0021】特に、(1-8)前記球面収差制御手段は前記パターンの線巾のデフォーカスによる変化を最小にして前記投影光学系の球面収差を制御していることを特徴としている。

【0022】(1-9)前記第1物体に設けたマークを介した光束を前記投影光学系により前記第2物体面の一部又はその近傍に設けた反射面に集光し、該反射面からの反射光束を又は該反射面若しくは該第1物体を該投影光学系の光軸方向に変位させたときの該反射面からの反

射光束を該投影光学系を介して該第1物体面上のマーク近傍に再集光し、このときの該マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴としている。

【0023】(1-10)前記第2物体近傍に設けたマーク又は該マークを前記投影光学系の光軸方向に駆動させたときの該マークを照明光学系からの光束で該投影光学系の反対側から照明し、このとき該マークからの光束を該投影光学系を介して前記第1物体近傍に集光させ、そして該第1物体の該投影光学系側の面で反射して該投影光学系により該第2物体面の該マーク近傍に再集光し、かつ該マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴としている。

【0024】(1-11)前記第1物体面上に設けた第1マークを前記投影光学系により前記第2物体面上に投影したときの該投影マーク像と実質的に重なる位置に該第1マークと相似形でかつ該投影光学系の結像倍率を掛け合わせたときの寸法を有する第2マークを設け、該第2マークを介した光束を又は該第2マーク若しくは該第1物体を該投影光学系の光軸方向に移動させたときの該第2マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴としている。

【0025】(1-12)前記第2物体面上に設けた第2マークを前記投影光学系により前記第1物体面上に投影したときの該投影マーク像と実質的に重なる位置に該第2マークと相似形でかつ該投影光学系の結像倍率を掛け合わせたときの寸法を有する第1マークを設け、該第1マークを介した光束を又は該第1マーク若しくは該第2物体を該投影光学系の光軸方向に移動させたときの該第1マークを介した光束を検出手段で検出し、前記球面収差計測手段は該検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測していることを特徴としている。

【0026】(1-13)前記第1物体面上のパターンを前記投影光学系により前記第2物体面上に投影露光する際の露光履歴を露光履歴計測手段で計測し、該露光履歴計測手段からの信号により、前記球面収差計測手段は該投影光学系の球面収差を演算により求めていることを特徴としている。

【0027】(1-14)前記制御されるべき球面収差の補正量に対し、あるリミットを設定し球面収差の変化値又は変化の予想値が該リミットを越えない場合には球面収差の補正を行わないことを特徴としている。

【0028】(1-15)前記球面収差の補正をウエハの交換時に行なうことを特徴としている。

【0029】(2)照明光学系からの光束で照明された第1物体面上のパターンを投影光学系を介して第2物体

面上に投影する際、制御手段により該投影光学系の球面収差が所定値になるように制御すると共に球面収差以外の光学特性を同時に補正していることを特徴としている。

【0030】特に、(2-1)前記光学特性はフォーカス、投影倍率、ディストーションのうちの少なくとも1つであることを特徴としている。

【0031】(2-2)前記制御手段は前記第2物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させること、又は該投影光学系の一部の部材を駆動させること又は該投影光学系の光学部材間の気体の屈折率を変化させることの少なくとも1つを用いており、球面収差を含む補正する光学特性の数と該制御手段による制御する数とが一致していることを特徴としている。

【0032】

【実施例】図1は本発明の実施例1の要部概略図である。

【0033】同図において30は基板としてのレチクル(フォトマスク)であり、レチクルステージ37に保持されている。レチクル30上の回路パターンが投影光学系(縮小投影レンズ)31によって、保持手段としてのXYZステージ34上のウエハー32上に1/5に縮小されて結像し露光が行なわれる。

【0034】投影光学系31は入射側及び出射側で共にテレセントリックになっている。101は球面収差補正用の光学部材であり、2枚の光学楔43、44を全体として平行平板となるように対向配置している。該2つの光学楔43、44は相対的に投影光学系31の光軸31bと直交する方向に移動可能であり、光軸方向の厚さが可変になっている。光学部材101の詳細については後述する。

【0035】図1では、ウエハー32に隣接する位置にウエハー32の上面とその面の高さがほぼ一致している基準平面(反射面)81が配置されている。また基準平面81の面はCrやAl等の金属膜で形成されている。またXYZステージ34は縮小投影レンズ31の光軸方向(Z方向)及びこの方向に直交する面内(x-y面)で移動可能となっている。ウエハー回路パターンを転写するとき、レチクル30は照明光学系1からの光束によって回路パターンの転写が行なわれる画面領域内を照明される。

【0036】52及び53は面位置検出光学系を構成する要素を示している。52は投光光学系であり、基準平面81の傾きをチェックする為、複数個の光束を投光する。投光光学系52より投光される各光束は非露光光からなり、ウエハー上のフォトレジストを感光させない光よりになっている。そしてこの複数の光束は基準平面81上(或いはウエハー32の上面)に各々集光されて反射される。

【0037】基準平面81で反射された光束は検出光学

系53内に入射する。図示は略したが、検出光学系53内には各反射光束に対応させて複数個の位置検出用の受光素子が配置されており、各位置検出用の受光素子の受光面と基準平面81上での各光束の反射点が結像光学系31によりほぼ共役となるように構成されている。基準平面81の縮小投影レンズ31の光軸31b方向の位置ずれは、検出光学系53内の位置検出用の受光素子上での入射光束の位置ずれとして計測される。

【0038】この検出光学系53により計測された基準平面81の装置のフォーカス基準位置からのZ方向のずれが位置検出用の受光素子からの出力信号に基づいて面位置検出装置80により面位置として算出される。この結果、実際にTTLでフォーカスを計測する光束が基準平面81に当る位置の装置のフォーカス基準位置からのZ方向のずれが、これに対する信号が信号線を介して球面収差計測制御系61に入力される。

【0039】球面収差計測制御系61は基準平面81が固設されたXYZステージ34を駆動するためのステージ駆動装置62に信号線を介して指令信号を与える。また投影レンズ31の球面収差を計測するときには球面収差計測制御系61によりステージ駆動装置62に指令を与え、基準平面81が所定の装置の基準位置の近傍で投影レンズ31の光軸方向(Z方向)に上下に変位するようにXYZステージを駆動する。

【0040】次に、縮小投影レンズ31の球面収差計測方法について説明する。

【0041】図4、図5において、30はレチクル、30aはレチクル30上に形成されたパターン部で遮光性をもつものとする。また30bはパターン部30aに挟まれた透光部である。このパターン部30aと透光部30bにより計測用マーク30cを構成している。

【0042】ここで縮小投影レンズ31の球面収差の計測を行なうときには、前述したようにXYZステージ34が縮小投影レンズ31の光軸方向に移動する。基準平面81は縮小投影レンズ31の真下に位置付けられており、レチクル30のパターン部30aと透光部30bは球面収差計測用の照明光学系1により照明されている。

【0043】この球面収差計測用の照明光学系は次のような構成よりなっている。露光用の照明光学系1から取り出された露光光と同一波長の光の一部は検出ビームとして光ファイバー82でNDフィルター64を介して、コリメータレンズ65に導かれ開口絞り66を照射する。開口絞り66は照明光学系1の2次光源の形状に応じた形状及び大きさとなっている。

【0044】64は光量制御用のNDフィルターであり、球面収差計測用の光量が適正となるように、その光学濃度が設定されている。開口絞り66からの光は偏光ビームスプリッター67によって、λ/4板68、対物レンズ69、ミラー70を順次通ってレチクル30を照明するS偏光光と、集光レンズ74を介して基準光量検

出系の受光素子75に入射するP偏光光とに分岐される。レチクル30を照明する光は開口絞り66により照明光学系1の露光時のNAと同じNAの光となるように設定している。

【0045】またレチクル30及び投影光学系31を通した反射光は基準平面81で反射し光のルートを逆に戻ってくるが、 $\lambda/4$ 板68の作用により偏光ビームスプリッター67を通過し、リレーレンズ71を介して球面収差計測用の検出手段としての受光素子72に入射する。受光素子72はパターン30aの像の基準平面81上での結像状態を検出している。

【0046】照明光学系1からの出力変動や出力経時変化が大きいときは受光素子72の出力信号を受光素子75の出力信号で割った値を球面収差計測用出力として使用するが、そうでないときは受光素子72からの出力をそのまま使う。

【0047】次に本実施例において、基準平面81が縮小投影レンズ31のピント面にある場合について、図4を用いて説明する。

【0048】レチクル30上の透光部30bを通った光は縮小投影レンズ31を介して、基準平面81上に集光し反射される。反射された光は、往路と同一の光路と同一の光路をたどり、縮小投影レンズ31を介しレチクル30に集光し、レチクル30上のパターン部30a間の透光部30bを通過する。このとき光はレチクル30上のパターン部30aにけられることが少なく、多くの光束が透光部30bを透過する。

【0049】次に、基準平面81が縮小投影レンズ31のピント面よりずれた位置にある場合について、図5を用いて説明する。

【0050】レチクル30上のパターン部30aの透光部を通った光は、縮小投影レンズ31を介し基準平面81が縮小投影レンズ31のピント面にないので、光は広がった光束として基準平面81で反射される。

【0051】即ち、反射された光は往路と異なる光路と異なる光路をたどり、縮小投影レンズ31を通り、レチクル30上に集光することなく基準平面81の縮小投影レンズ31のピント面からのずれ量に対応した広がりをもった光束となってレチクル30上に達する。

【0052】このとき光束はレチクル30上のパターン部30aによって一部の光がけられを生じ、全部の光束が透光部30bを通過することはできない。即ち、ピント面に合致したときとそうでないときにはレチクルを通しての反射光量（反射強度）に差が生じるのである。

【0053】これと同様に、縮小投影レンズ31の球面収差の大小によっても、レチクル30を通しての反射光量に差が生じてくる。即ち基準平面81が縮小投影レンズ31のピント面に合致している場合でも、球面収差の小さいときの方が大きいときよりもレチクル30を通しての反射光量が大きくなる。

【0054】この原理によって、縮小投影レンズ31の球面収差を計測する方法について述べる。

【0055】まずステージ駆動装置62により基準平面81を搭載したXYZステージ34を縮小投影レンズ31の光軸方向に面位置検出装置80で予め設定してある零点を中心に駆動させる。このとき面位置検出装置80で基準平面81の複数箇所の光軸方向に関する位置がモニターされている。これらの位置をZとして、そのときの受光素子72が検出する光量（或いは、受光素子72が検出する光量を受光素子75が検出する光量で割った値）との関係を示すと図6のようになる。

【0056】前述したように、このカーブのピークとなるZ位置Z₀が縮小投影レンズ31のピント位置になるのだが、離散的な計測点からピーク位置を求める都合上、以下の手法のいずれかが適用される。

【0057】（1-イ）ピーク出力に対してある割合のスライスレベル220を設定し、このスライスレベル220の出力を示すときのオートフォーカス計測値Z₁、Z₂を知ることによりピント位置を

【0058】

【数1】

$$Z_0 = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad \dots\dots (1)$$

とするスライス法や、（1-ロ）光量出力（f_i）及びオートフォーカス計測値（z_i）に対して重心処理を行ない、ピント位置を

【0059】

【数2】

$$Z_0 = \frac{\sum (z_i \times f_i)}{\sum f_i} \quad \dots\dots (2)$$

とする重心法、或いは（1-ハ）光量出力（f_i）及びオートフォーカス計測値（z_i）に対して2次関数近似（ $y = ax^2 + bx + c$ ）を行ない、ピント位置を

【0060】

【数3】

$$Z_0 = -\frac{b}{2a} \quad \dots\dots (3)$$

とする関数近似法などを用いることができる。

【0061】このようにして求めた計測値Z₀における受光素子72が検出する光量（或いは、受光素子72が検出する光量を受光素子75が検出する光量で割った値）がいくらかで縮小投影レンズ31の球面収差の量を知ることができる。このとき実際の球面収差量と上記光量との関係は、予め実測或いはシミュレーション等で対応付けておく。

【0062】図6のカーブから縮小投影レンズ31の球面収差量を求める別の方法として、上記のように光量そのものから求めずに、光量変化の振舞いから求める方法もある。即ち、球面収差の大きい場合は、ベストピント

位置でもすでにボケがあるために、ピントがずれてもボケ量としてそれほど変わらないために、Zを変化させたときの光量変化量が少なくなることを利用する。

【0063】言い換えれば、球面収差が大きいほど図6のカーブがなまる。このときの実際の計測処理としては、図6のZ、 $-Z$ を評価量として、この量が大きいほどカーブがなまって球面収差が大きいことになる。

又、重心法では重心と共に2次のモーメントを計算すると、球面収差が大きい程モーメントが大きくなるし、関数近似法でも球面収差が大きくなるとパラメータaの値が小さくなる。これらの評価量は予め実測或いはシミュレーションで実際の球面収差量と対応がつけられている。

【0064】また別の手法として、異なる線巾の2つのパターンを別個に計測し、そのベストフォーカス位置の差から球面収差発生量を決定してもよい。

【0065】以上の各要素81、30c、72、73、62等は球面収差計測手段の一要素を構成している。

【0066】次に、このようにして計測した球面収差量に基づいて、縮小投影レンズ31の球面収差量を所望の値に制御する方法について述べる。

【0067】本実施例においては、前述のように2枚1組の光学クサビ43、44よりなる光学部材101によって球面収差を制御する。この部分を拡大したものが図7である。これら2枚の光学クサビにはそれぞれ左右方向に駆動するための不図示のアクチュエーターがついている。これらを駆動することにより、光束に対する平行平板としての板厚が変化して、縮小投影レンズ31の球面収差量を制御することができる。

【0068】また、このとき同時に縮小投影レンズ31のピント位置も変化してしまうので、XYZステージ34を縮小投影レンズ31の光軸方向に移動させてピント補正している。この際、球面収差補正後にもう一度TTLのフォーカス計測を行なうと、投影レンズ31のフォーカス位置と補正された球面収差の双方を一度にチェックすることができる。又、TTLでアライメントを行なっている場合には、球面収差補正後ベースライン計測を行なっても良い。各要素101、61等は球面収差を制御する制御手段の一要素を構成している。

【0069】実際に球面収差の量が問題となるのは2つのケースがある。

【0070】1つはレジストの種類、或いは厚さにより最適の球面収差が異なる時である。最適の値は予めレジストの種類と厚さを与える。又は球面収差の量を装置に直接入力することにより、装置全体をコントロールするコンピュータ85より、不図示の球面収差補正駆動系に与えられる。

【0071】2番目は露光による投影レンズ31の熱吸収によって球面収差が変化する場合である。この時は球面収差の量が時々刻々変化する。変化の様子はフォーカ

スの変化の場合と同様にエクスponentialに変化し、投影レンズに投入される露光光量、即ちレチクルのパターン透過率、露光のデューティ、照度等によって決定される飽和値に向って指数関数的な挙動を示すが、図8のように確認されている。

【0072】従って、球面収差の補正は時間的に投影レンズの変化をキャンセルする方向に行なわれる。但し補正を行なう時、駆動に時間がかかるため変化量にあるリミットを設け、そのリミット量を越えない間は補正を行なわないようにすると良い。又、球面収差の補正はウエハ交換の間に補正が行なわれるようにすると、1枚のウエハ露光中の球面収差の変化量がリミット内に納まる確率が高くなり都合が良い。

【0073】特に指数関数的な変化が問題となるのは露光が始まる初期状態である。1枚の露光中に変化する球面収差量は投入される光量条件、レジスト感度、ショット数、ウエハからの反射率等によって予め既知の量として計算することができる。

【0074】従って1枚のウエハの露光中に球面収差の補正駆動を行なってスループットを損なわないようにする為、補正をかける球面収差量を1枚の露光の初期状態と最終状態の真中の値を目標値とすると良い。

【0075】尚、本発明においては以上の実施例の他に、次のような構成も適用可能である。

【0076】(2-1)球面収差の制御手段として、縮小投影レンズ31内の1枚のレンズを光軸方向に駆動すること。または互いに厚さの異なる平行平板を光路中で切り替えること。特に平行平板はレチクル直下、もしくはウエハの直前に配置されていると良い。

【0077】(2-2)球面収差の制御手段として、縮小投影レンズ31内の光学部材間の気体の屈折率を変化させること。このとき気体の屈折率を変化させる手段としては、圧力制御、混合気体の混合比制御等がある。

【0078】(2-3)球面収差の制御手段として、縮小投影レンズ31を加熱、冷却すること。加熱、冷却することで縮小投影レンズ31内の光学部材の物理的変形や、屈折率変化を生じさせて球面収差を変化させる。

【0079】(2-4)球面収差の制御手段として、投影露光装置の照明光学系1の光源の波長を変化させること。波長を変えることで、縮小投影レンズ31の色収差補正された波長からずらすことによって色球面収差を変化させる。光源が狭帯域化されたエキシマレーザー等の波長可変のものを用いたときに最適な方法である。

【0080】(2-5)球面収差の制御手段として、投影露光装置の照明光学系1の光源の波長巾を変化させること。波長巾を変えることで、縮小投影レンズ31の軸上色収差によってピントずれの広がりが増加し球面収差を変化させる。光源が狭帯域化されたエキシマレーザー等の波長巾可変のものを用いたときに最適な方法である。

【0081】(2-6) 球面収差の制御手段として、縮小投影レンズ31の瞳位置に所定の球面収差を発生させる回転対称な非球面を切り換えること(図9)などが挙げられる。

【0082】(2-7) 球面収差を計測する方法として前述のような方法以外に、XYZステージ34を縮小投影レンズ31の光軸方向に移動させながらレジストの塗布されたウエハー上に順次パターンを焼きつけていき、現像したパターンの線巾を計測して、前述のビボタルの傾きを見て、発生させるべき球面収差を換算するという方法が適用可能である。

【0083】(2-8) 球面収差を計測する方法として、前述のレチクル30上のマーク30a、bを照明して光束をウエハー32とほぼ同じ高さの基準平面81で反射して縮小投影レンズ31を往復させる方法とは逆に、基準平面81にマークを設けてそれを照明し、光束をレチクル30の下で反射して縮小投影レンズ31を往復させて基準平面81上のマークの透過光量を計測するという方法も適用可能である。この場合、各要素64~75の球面収差計測系は全て基準平面81の下

のXYZステージ34内に持つことになる。その後の検出処理は前述の方法と同じである。

【0084】(2-9) 球面収差を計測する方法として、前述のレチクル30上のマーク30a、bを照明するが光束をウエハー32とほぼ同じ高さの基準平面81で反射させる代わりに、基準平面81にもレチクル30上のマークと相似形で該マークの寸法に縮小投影レンズ31の倍率を掛けた寸法のマークを配置し、そのマークの透過光量を計測する方法も適用可能である。この場合、各要素64~75の球面収差計測系のうち、71、72は基準平面81の下、それ以外はレチクル30の上に持つことになる。その後の検出処理は前述の方法と同じである。

【0085】(2-10) 球面収差を計測する方法として、(2-9)とは逆に基準平面81にレチクル30上のマークと相似形で該マークの寸法に縮小投影レンズ31の倍率を掛けた寸法のマークを配置し、そのマークを下から照明し、レチクル30上のマークの透過光量を計測する方法も適用可能である。この場合、各要素64~75の球面収差計測系のうち、71、72はレチクル30の上、それ以外は基準平面81の下に持つことになる。その後の検出処理は前述の方法と同じである。

【0086】又、露光による球面収差は投影露光装置で露光を重ねていくと、縮小投影レンズが露光を吸収し、それが熱となって縮小投影レンズ31内の光学部材の物理的変形や屈折率変化を生じさせて発生する。この言わば露光の履歴から現状の球面収差を見積もって補正するソフトは球面収差の測定と同時に縮小投影レンズ31に対し適用される。

【0087】(2-11) 前述の方法や(2-1)~(2-5)の方法で球面収差を変化させると、多くの場合、球面収差以外の光学性能も同時に変化してしまうのでそれを補正する必要がある。また球面収差以外の光学性能も所望の値に制御する必要のあるときもある。

(例、Mix & Matchの場合に倍率を制御する。) この場合、縮小投影レンズ内の球面収差の制御に使っていないところの光学部材を移動したり、光学部材間の気体の屈折率を変化させたりして、球面収差以外で制御したい光学性能を制御する。通常の場合、球面収差以外で制御の必要がある光学性能は、例えばフォーカス(ピント)、倍率、ディストーションのうちの1つ以上のいずれかである。また補正する光学性能と補正手段の関係は、近似的に線形結合であるので両者の数は一致する。

【0088】

【発明の効果】本発明によれば以上のように、投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該投影光学系の球面収差を制御する制御手段とを利用することにより、球面収差がどのように変化しても常に所定の値に制御してビボタルの傾きの発生を効果的に抑えて安定した高解像度の投影パターン像の焼付けが可能な投影露光装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例1の要部概略図

【図2】 ビボタルの傾きが無い場合のフォーカスと焼付け線巾との関係を示す図

【図3】 ビボタルの傾きがある場合のフォーカス対焼付け線巾との関係を示す図

【図4】 本発明におけるピント及び球面収差計測原理の説明図

【図5】 本発明におけるピント及び球面収差計測原理の説明図

【図6】 本発明における面位置と検出系信号との関係を示す説明図

【図7】 本発明における球面収差の制御機構の一実施例の説明図

【図8】 露光による球面収差の発生

【図9】 本発明における球面収差補正機構の例

【符号の説明】

- 1 照明光学系
- 30 レチクル
- 31 縮小投影レンズ
- 32 ウエハー
- 34 XYZステージ
- 43, 44 光学クサビ(2枚1組)
- 52 投光光学系
- 53 検出光学系
- 72 計測光量検出ディテクタ
- 73 基準光量検出ディテクタ

焼付けられたバターンの縦巾
(ボジレシスト ヌキバターン)

フォーカス

オーバー露光

適正露光量

アンダー露光

焼付けられたバターンの線巾
(ボジレジスト ヌキバタートーン)

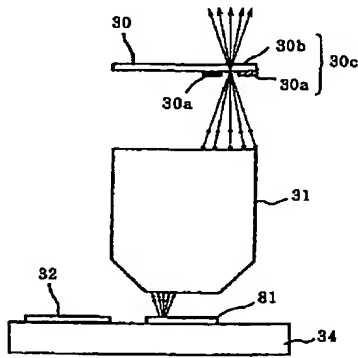
オーバー露光

適正露光

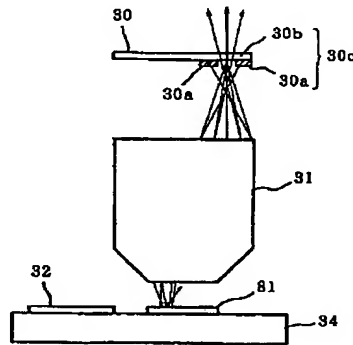
アンダー露光

フォーカス

【図4】



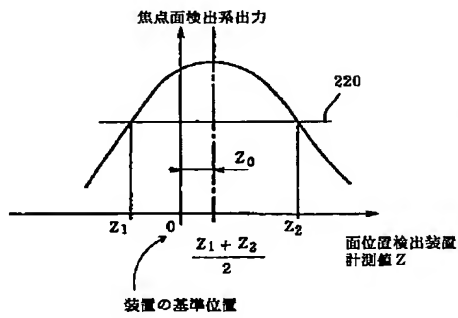
【図5】



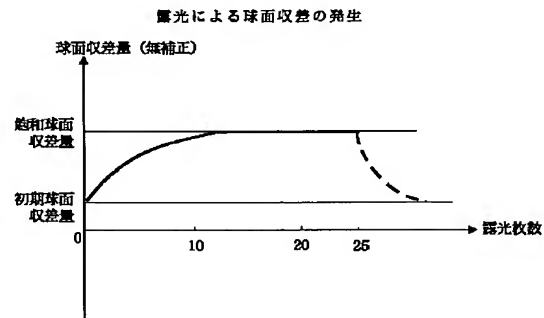
【図7】



【図6】

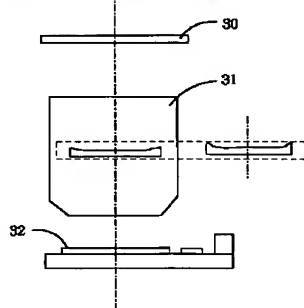


【図8】



【図9】

随位置での非球面の切り換え



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第2区分
 【発行日】平成13年3月23日(2001.3.23)

【公開番号】特開平6-326000
 【公開日】平成6年11月25日(1994.11.25)
 【年通号数】公開特許公報6-3260
 【出願番号】特願平5-136886
 【国際特許分類第7版】

H01L 21/027
 G03F 7/20 521
 // G02B 13/00
 【F I】
 H01L 21/30 311 L
 G03F 7/20 521
 G02B 13/00

【手続補正書】
 【提出日】平成12年5月15日(2000.5.15)

【手続補正1】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】発明の名称
 【補正方法】変更
 【補正内容】

【発明の名称】 投影露光装置及び半導体素子の製造方法

【手続補正2】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】特許請求の範囲
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記照明光学系からの光束の波長を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光軸方向の厚さが可変である平行平板を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 照明光学系からの光束で照明された第1

物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動でき且つ全体として平行平板と成っている2枚の光学楔を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる互いに厚さが異なる複数の平行平板を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項5】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる複数種の非球面部材を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項6】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる複数種の球面収差発生部材を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光学部材間の混合気体の混合比を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系を加熱又は／及び冷却する手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項9】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記照明光学系からの光束の波長幅を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項10】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段と、前記球面収差変更手段による前記球面収差の変更に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段とを有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項11】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記照明光学系からの光束の波長を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項12】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光軸方向の厚さが可変である平行平板を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項13】 照明光学系からの光束で照明された第

1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動でき且つ全体として平行平板と成っている2枚の光学楔を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる互いに厚さが異なる複数の平行平板を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項15】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる複数の非球面部材を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項16】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる複数の球面収差発生部材を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項17】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光学部材間の混合気体の混合比を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項18】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系を加熱又は／及び冷却する手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項19】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影

する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記照明光学系からの光束の波長幅を変える手段を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項20】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段と、前記補正手段による前記球面収差変化の補正に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段とを有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項21】 前記球面収差変更手段による球面収差の変更に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段を有することを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項22】 前記補正手段による球面収差変化の補正に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段を有することを特徴とする請求項1～19のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項23】 前記投影光学系の前記球面収差以外の光学特性は、ビント、倍率、ディストーションのうちの少なくとも一つであることを特徴とする請求項20から22のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項24】 前記球面収差計測手段は、前記第1物体のパターンを前記投影光学系により前記第2物体面に投影露光に係る露光履歴に基づいて前記投影光学系の球面収差を演算することを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項25】 前記第1物体のパターンを前記第2物体としてのウエハのフォトレジストに転写したパターンの線巾のデフォーカスによる変化具合に基づいて前記投影光学系の球面収差を計測することを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項26】 前記球面収差制御手段は、前記パターンの線巾のデフォーカスによる変化が最小になるように前記投影光学系の球面収差を設定することを特徴とする請求項25に記載の投影露光装置。

【請求項27】 前記球面収差計測手段は、前記第1物体に設けた遮光部と透光部を含むマークを照明し、該マークからの光束を前記投影光学系により前記第2物体を保持するステージに設けた反射面に集光し該反射面からの反射光束を前記投影光学系により前記第1物体の前記マークの近傍に集光し、前記マークの前記透光部を通過した前記反射光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影

光学系の球面収差を計測することを特徴とする請求項1～26のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項28】 前記球面収差計測手段は、前記第2物体を保持するステージに設けた遮光部と透光部を含むマークを照明し、該マークからの光束を前記投影光学系により前記第1物体上に集光し、前記第1物体からの反射光束を前記投影光学系により前記ステージの前記マークの近傍に集光し、前記マークの前記透光部を通過した前記反射光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴とする請求項1～26のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項29】 前記球面収差計測手段は、前記第1物体に設けた遮光部と透光部を含む第1マークを照明し、前記投影光学系により前記第1マークの像を前記第2物体を保持するステージ上の前記第1マークと相似形で前記第1マークの像を形成するときの前記投影光学系の結像倍率を掛けた寸法を持つ第2マーク上に投影し、前記第2マークの透光部を通過した光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴とする請求項1～26のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項30】 前記球面収差計測手段は、前記第2物体を保持するステージに設けた遮光部と透光部を含む第1マークを照明し、前記投影光学系により前記第1マークの像を前記第1マークの像と相似形で前記第1マークの像を形成するときの前記投影光学系の結像倍率を掛けた寸法を持つ前記第1物体上の第2マーク上に投影し、前記第2マークの透光部を通過した光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴とする請求項1～26のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項31】 前記第1マークは互いに線幅が異なる複数のパターンを含み、該複数のパターンの前記投影光学系による結像状態が個別に検出されることを特徴とする請求項27から30のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項32】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、互いに線幅が異なる複数のパターンの各々の前記投影光学系による結像状態を検出し、前記複数のパターンの各々の結像状態に基づいて前記投影光学系の球面収差を調整することを特徴とする投影露光装置。

【請求項33】 照明光学系からの光束で照明された第

1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、互いに線幅が異なる複数のパターンの各々の前記投影光学系によるベストフォーカス位置を検出し、前記複数のパターンの各々のベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差量を求め、求めた結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を調整することを特徴とする投影露光装置。

【請求項34】 前記複数のパターンが前記第2物体を保持するステージもしくは前記第1物体上に設けてあることを特徴とする請求項32または請求項33に記載の投影露光装置。

【請求項35】 前記球面収差の調整を前記第2物体としてのウェハの交換時に行なうことを特徴とする請求項1から34のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項36】 前記球面収差の調整をした後で、TTLアライメントのためのベースライン計測を行なうことを特徴とする請求項1～35のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項37】 照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する、TTLアライメント機能を有する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を調整する手段を有し、前記球面収差の調整をした後で、前記TTLアライメントのためのベースライン計測を行なうことを特徴とすることを特徴とする投影露光装置。

【請求項38】 前記球面収差の補正に関して所定のしきい値を設定し、前記球面収差の変化量又は変化量の予想値が前記しきい値を越えない場合は前記球面収差の補正を行なわないことを特徴とする請求項1から37のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項39】 請求項1～38のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いて回路パターンをウェハに露光する段階を含むことを特徴とする半導体素子の製造方法。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は投影露光装置及び半導体素子の製造方法に関し、特に半導体素子製造の分野において半導体ウェハ表面にレジスタの回路パターンを繰り返し縮小投影露光する、所謂ステッパーと呼ばれる投影露光装置に関する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】そして近年になってますます解像力の向上

が要求され、それに対応するべく投影光学系の開口数（Numerical Aperture、以下「NA」と記す）を大きくしていき、その値が0.5を越えるまでになってきている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】本発明は投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該投影光学系の球面収差を制御する制御手段とを利用することにより、露光光の熱の吸収や空気圧の急激な変化によって球面収差がどのように変化しても所定の値に制御してビタルの傾きの発生を効果的に抑えて安定した高解像度の投影パターン像の焼付けが可能な投影露光装置及び半導体素子の製造方法の提供を目的とする。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記照明光学系からの光束の波長を変える手段を有することを特徴としている。請求項2の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光軸方向の厚さが可変である平行平板を有することを特徴としている。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】請求項3の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて

前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動でき且つ全体として平行平板と成っている2枚の光学楔を有することを特徴としている。請求項4の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる互いに厚さが異なる複数の平行平板を有することを特徴としている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】請求項5の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる複数の非球面材を有することを特徴としている。請求項6の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、選択的に用いる複数の球面収差発生部材を有することを特徴としている。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】請求項7の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系の光学部材間の混合気体の混合比を変える手段を有することを特徴としている。請求項8の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光

装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記投影光学系を加熱又は／及び冷却する手段を有することを特徴としている。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】請求項9の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段とを有し、前記球面収差変更手段は、前記照明光学系からの光束の波長幅を変える手段を有することを特徴としている。請求項10の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を計測する球面収差計測手段と、該球面収差計測手段による計測結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を変化させる球面収差変更手段と、前記球面収差変更手段による前記球面収差の変更に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段とを有することを特徴としている。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】請求項11の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記照明光学系からの光束の波長を変える手段を有することを特徴としている。請求項12の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光軸方向の厚さが可変である平行平板を有することを特徴としている。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】請求項13の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光軸と直交する方向に相対的に駆動でき且つ全体として平行平板となっている2枚の光学楔を有することを特徴としている。

請求項14の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる互いに厚さが異なる複数の平行平板を有することを特徴としている。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】請求項15の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる複数の非球面部材を有することを特徴としている。

請求項16の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、選択的に用いる複数の球面収差発生部材を有することを特徴としている。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】請求項17の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投

影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系の光学部材間の混合気体の混合比を変える手段を有することを特徴としている。

請求項18の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記投影光学系を加熱又は／及び冷却する手段を有することを特徴としている。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】請求項19の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段とを有し、前記補正手段は、前記照明光学系からの光束の波長幅を変える手段を有することを特徴としている。

請求項20の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差の変化を検出する検出手段と、該検出手段による検出結果に基づいて前記投影光学系の前記球面収差変化を補正する補正手段と、前記補正手段による前記球面収差変化の補正に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段とを有することを特徴としている。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】請求項21の発明は請求項1～9のいずれか1項の発明において、前記球面収差変更手段による球面収差の変更に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段を有することを特徴としている。

請求項22の発明は請求項11～19のいずれか1項の発明において、前記補正手段による球面収差変化の補正に伴い生じる前記投影光学系の球面収差以外の光学特性の変化を補正する手段を有することを特徴としている。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】請求項23の発明は請求項20又は22の発明において、前記投影光学系の前記球面収差以外の光学特性は、ピント、倍率、ディストーションのうちの少なくとも一つであることを特徴としている。請求項24の発明は請求項1～9のいずれか1項の発明において、前記球面収差計測手段は、前記第1物体のパターンを前記投影光学系により前記第2物体面に投影露光に係わる露光履歴に基づいて前記投影光学系の球面収差を演算することを特徴としている。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正内容】

【0023】請求項25の発明は請求項1～9のいずれか1項の発明において、前記第1物体のパターンを前記第2物体としてのウエハのフォトレジストに転写したパターンの線巾のデフォーカスによる変化具合に基づいて前記投影光学系の球面収差を計測することを特徴としている。請求項26の発明は請求項25のいずれか1項の発明において、前記球面収差制御手段は、前記パターンの線巾のデフォーカスによる変化が最小になるように前記投影光学系の球面収差を設定することを特徴としている。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正内容】

【0024】請求項27の発明は請求項1～26のいずれか1項の発明において、前記球面収差計測手段は、前記第1物体に設けた遮光部と透光部を含むマークを照明し、該マークからの光束を前記投影光学系により前記第2物体を保持するステージに設けた反射面に集光し該反射面からの反射光束を前記投影光学系により前記第1物体の前記マークの近傍に集光し、前記マークの前記透光部を通過した前記反射光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴としている。請求項28の発明は請求項1～26のいずれか1項の発明において、前記球面収差計測手段は、前記第2物体を保持するステージに設けた遮光部と透光部を含むマークを照明し、該マークからの光束を前記投影光学系により前記第1物体上に集光し、前記第1物体からの反

射光束を前記投影光学系により前記ステージの前記マークの近傍に集光し、前記マークの前記透光部を通過した前記反射光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴としている。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】請求項29の発明は請求項1～26のいずれか1項の発明において、前記球面収差計測手段は、前記第1物体に設けた遮光部と透光部を含む第1マークを照明し、前記投影光学系により前記第1マークの像を前記第2物体を保持するステージ上の前記第1マークと相似形で前記第1マークの像を形成するときの前記投影光学系の結像倍率を掛けた寸法を持つ第2マーク上に投影し、前記第2マークの透光部を通過した光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴としている。請求項30の発明は請求項1～26のいずれか1項の発明において、前記球面収差計測手段は、前記第2物体を保持するステージに設けた遮光部と透光部を含む第1マークを照明し、前記投影光学系により前記第1マークの像を前記第1マークの像と相似形で前記第1マークの像を形成するときの前記投影光学系の結像倍率を掛けた寸法を持つ前記第1物体上の第2マーク上に投影し、前記第2マークの透光部を通過した光束を、前記ステージまたは前記第1物体を前記投影光学系の光軸方向に移動させつつ、光検出手段に入射させ、該光検出手段からの信号を用いて該投影光学系の球面収差を計測することを特徴としている。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】請求項31の発明は請求項27～30のいずれか1項の発明において、前記第1マークは互いに線幅が異なる複数のパターンを含み、該複数のパターンの前記投影光学系による結像状態が個別に検出されることを特徴としている。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正内容】

【0027】請求項32の発明の投影露光装置は、照明

光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、互いに線幅が異なる複数のパターンの各々の前記投影光学系による結像状態を検出し、前記複数のパターンの各々の結像状態に基づいて前記投影光学系の球面収差を調整することを特徴としている。請求項33の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する投影露光装置において、互いに線幅が異なる複数のパターンの各々の前記投影光学系によるベストフォーカス位置を検出し、前記複数のパターンの各々のベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求め、求めた結果に基づいて前記投影光学系の球面収差を調整することを特徴としている。請求項34の発明は請求項32又は33の発明において、前記複数のパターンが前記第2物体を保持するステージもしくは前記第1物体上に設けてあることを特徴としている。

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】請求項35の発明は請求項1～34のいずれか1項の発明において、前記球面収差の調整を前記第2物体としてのウェハの交換時に行なうことを特徴としている。請求項36の発明は請求項1～35のいずれか1項の発明において、前記球面収差の調整をした後で、TTLアライメントのためのベースライン計測を行なうことを特徴としている。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】請求項37の発明の投影露光装置は、照明光学系からの光束で照明された第1物体のパターンを投影光学系により第2物体上に投影する、TTLアライメント機能を有する投影露光装置において、前記投影光学系の球面収差を調整する手段を有し、前記球面収差の調整をした後で、前記TTLアライメントのためのベースライン計測を行なうことを特徴とすることを特徴としている。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】請求項38の発明は請求項1から37のいずれか1項の発明において、前記球面収差の補正に関して所定のしきい値を設定し、前記球面収差の変化量又は

変化量の予想値が前記しきい値を越えない場合は前記球面収差の補正を行なわないことを特徴としている。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正内容】

【0031】請求項39の発明の半導体素子の製造方法は、請求項1～38のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いて回路パターンをウェハに露光する段階を含むことを特徴としている。

【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正内容】

【0034】投影光学系31は入射側及び出射側で共にテレセントリックになっている。101は球面収差補正用の光学部材であり、2枚の光学楔43、44を全体として平行平板となるように対向配置している。該2つの光学楔43、44は相対的に投影光学系31の光軸31bと直交する方向に移動可能であり、両光学楔による平行平板の光軸方向の厚さが可変になっている。光学部材101の詳細については後述する。

【手続補正28】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】図1では、ウェハ32に隣接する位置にウェハ32の上面とその面の高さがほぼ一致している基準平面（反射面）81が配置されている。また基準平面81の面はCrやAl等の金属膜で形成されている。またXYZステージ34は縮小投影レンズ31の光軸方向（Z方向）及びこの方向に直交する面内（x-y面）で移動可能となっている。ウェハ32に回路パターンを転写するとき、レチクル30は照明光学系1からの光束によって転写したい回路パターンが形成されている画面領域内を照明される。

【手続補正29】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】この検出光学系53により計測された基準平面81の装置のフォーカス基準位置からのZ方向のずれが位置検出用の受光素子からの出力信号に基づいて面位置検出装置80により面位置として算出される。また、実際にTTLでフォーカスを計測する光束が基準平面81に当る位置のフォーカス基準位置からのZ方向の

ずれに対する信号が信号線を介して球面収差計測制御系61に

【手続補正30】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

【0043】この球面収差計測用の照明光学系は次のような構成よりなっている。露光用の照明光学系1から取り出された露光光と同一波長の光の一部は検出ビームとして光ファイバー82とNDフィルター64を介して、コリメータレンズ65に導光されレンズ65から出て開口絞り66を照射する。開口絞り66は照明光学系1の2次光源の形状に応じた形状及び大きさとなっている。

【手続補正31】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】64は光量制御用のNDフィルターであり、球面収差計測用の検出ビームの光量が適正となるように、その光学濃度が設定されている。開口絞り66からの光は偏光ビームスプリッター67によって、 $\lambda/4$ 板68、対物レンズ69、ミラー70を順次通ってレチクル30を照明するS偏光光と、集光レンズ74を介して基準光量検出系の受光素子75に入射するP偏光光とに分岐される。レチクル30を照明する光は開口絞り66により照明光学系1の露光時のNAと同じNAの光となるように設定している。

【手続補正32】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正内容】

【0045】またレチクル30及び投影光学系31を通したS偏光は基準平面81で反射し光のルートを逆に戻ってくるが、 $\lambda/4$ 板68の作用によりP偏光に変換されるので偏光ビームスプリッター67を通過し、リレーレンズ71を介して球面収差計測用の検出手段としての受光素子72に入射する。受光素子72はパターン30aの像の基準平面81上での結像状態を検出している。

【手続補正33】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

【0046】照明光学系1からの光出力の変動や光出力の経時変化が大きいときは受光素子72の出力信号を受光素子75の出力信号で割った値を球面収差計測用出力として使用するが、そうでないときは受光素子72から

の出力をそのまま使う。

【手続補正34】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】レチクル30上の透光部30bを通った光は縮小投影レンズ31を介して、基準平面81上に集光し反射される。反射された光は、往路と同一の光路をたどり、縮小投影レンズ31を介しレチクル30に集光し、レチクル30上のパターン部30a間の透光部30bを通過する。このとき光はレチクル30上のパターン部30aにけられることが少なく、多くの光束が透光部30bを透過する。

【手続補正35】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正内容】

【0050】レチクル30上のパターン部30aの透光部を通った光は、縮小投影レンズ31を介し基準平面81に入射するが基準平面81が縮小投影レンズ31のピンツト面にないので、光は広がった光束として基準平面81で反射される。

【手続補正36】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正内容】

【0051】このとき、反射された光は往路と異なる光路と異なる光路をたどり、縮小投影レンズ31を通り、基準平面81の縮小投影レンズ31のピンツト面からのずれ量に対応した広がりをもった光束となってレチクル30上に達する。

【手続補正37】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】このとき光束はレチクル30上のパターン部30aによって一部の光がけられを生じ、全部の光束が透光部30bを通過することはできない。即ち、ピンツト面に合致したときとそうでないときにはレチクルを通しての反射光光量（反射光強度）に差が生じるのである。

【手続補正38】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正内容】

【0058】

【数1】

$$Z_0 = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad \dots\dots (1)$$

とするスライス法や、(1-ロ) n個の光量出力 (f i) 及びオートフォーカス計測値 (z i) に対して重心処理を行ない、ピント位置を

【手続補正39】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

【補正内容】

【0059】

【数2】

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i \times f_i)}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad \dots\dots (2)$$

とする重心法、或いは(1-ハ) 光量出力 (f i) 及びオートフォーカス計測値 (z i) に対して2次関数近似 ($y = ax^2 + bx + c$) を行ない、ピント位置を

【手続補正40】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正内容】

【0070】1つはレジストの種類、或いは厚さにより球面収差の最適値が異なる時である。最適の値は装置に予めレジストの種類と厚さを入力するか又は球面収差の量を装置に直接入力することにより、装置全体をコントロールするコンピュータ85より、不図示の球面収差補正駆動系に与えられる。

【手続補正41】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正内容】

【0071】2番目は露光による縮小投影レンズ31の熱吸収によって球面収差が変化する場合である。この時は球面収差の量が時々刻々変化する。球面収差量が変化の様子はフォーカスの変化の場合と同様にエクスponentialに変化し、投影レンズに投入される露光光量、

即ちレチクルのパターン透過率、露光のデューティ、照度等によって決定される飽和値に向って指数関数的な挙動を示すことが、図8のように確認されている。

【手続補正42】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0072

【補正方法】変更

【補正内容】

【0072】従って、球面収差の補正は投影レンズの時間的な変化をキャンセルする方向に行なわれる。但し補正を行なう時、駆動に時間がかかるため変化量にあるリミットを設け、そのリミット量を越えない間は補正を行なわないようにすると良い。又、球面収差の補正はウエハ交換の間に補正が行なわれるようにすると、1枚のウエハ露光中の球面収差の変化量がリミット内に納まる確率が高くなり都合が良い。

【手続補正43】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0073

【補正方法】変更

【補正内容】

【0073】特に指数関数的な変化が問題となるのは露光が始まった初期の状態のときである。1枚の露光中に変化する球面収差量は投入される光量条件、レジスト感度、ショット数、ウエハからの反射率等によって予め既知の量として計算することができる。

【手続補正44】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0074

【補正方法】変更

【補正内容】

【0074】従って1枚のウエハの露光中に球面収差の補正駆動を行なってもスループットを損なわないようにする為、補正をかける球面収差量を1枚の露光の初期状態と最終状態の真中の値を目標値とすると良い。

【手続補正45】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0088

【補正方法】変更

【補正内容】

【0088】

【発明の効果】本発明によれば、以上のように、投影光学系の球面収差を所定の値に制御して高解像度の投影パターン像の焼付けが可能な投影露光装置及び半導体素子の製造方法を達成することができる。